

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-18-25>
УДК: 635.64-02:631.527.57

И.Г. Пугачева^{1*}, А.В. Французёнок¹,
И.Е. Баева¹, О.Г. Бабак², А.В. Кильчевский²

¹ Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия 213407, Беларусь, Могилевская область, г. Горки, ул. Мичурина, д. 5

² Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси 220072, Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д. 27

*Автор для переписки:
puhachova.irina@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов при написании данной работы.

Вклад авторов: Пугачёва И.Г.: концептуализация, методология, верификация и администрирование данных, ресурсы, проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование. Французёнок А.В.: проведение исследования, создание черновика рукописи, формальный анализ. Баева И.Е.: проведение исследования, создание черновика рукописи, формальный анализ. Бабак О.Г.: концептуализация, верификация данных, ресурсы, создание рукописи и её редактирование. Кильчевский А.В.: научное руководство исследованием, ресурсы.

Для цитирования: Пугачева И.Г., Французёнок А.В., Баева И.Е., Бабак О.Г., Кильчевский А.В. Практическое использование эффекта гетерозиса по признакам урожайности и биохимического состава плодов томата (*Solanum lycopersicum* L.) в открытом грунте. *Овощи России*. 2024;(5):18-25.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-18-25>

Поступила в редакцию: 17.05.2024
Принята к печати: 03.07.2024
Опубликована: 27.09.2024

Iryna G. Puhachova^{1*}, Anastasiya V. Frantsuzionak¹, Iryna E. Bayeva¹, Olga G. Babak², Aleksander V. Kilchevsky²

¹ Belarusian State Agricultural Academy 5 Michurina Str., Gorki, 213407, Republic of Belarus

² Institute of Genetics and Cytology of National Academy of Science of Belarus 27, Akademicheskaya st., Minsk, 220072, Republic of Belarus

Corresponding Author:
puhachova.irina@gmail.com

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: Puhachova I.G.: conceptualization, methodology, data verification and administration, resources, research, formal analysis, manuscript creation and editing. Frantsuzionak A.V.: research, drafting the manuscript, formal analysis. Bayeva I.E.: research, drafting the manuscript, formal analysis. Babak O.G.: conceptualization, data verification, resources, manuscript creation and editing. Kilchevsky A.V.: scientific management of the study, resources.

For citation: Puhachova I.G., Frantsuzionak A.V., Bayeva I.E., Babak O.G., Kilchevsky A.V. Practical application of heterosis on yield evidence and fruits biochemical composition for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in open ground. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):18-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-18-25>

Received: 17.05.2024
Accepted for publication: 03.07.2024
Published: 27.09.2024

Практическое использование эффекта гетерозиса по признакам урожайности и биохимического состава плодов томата (*Solanum lycopersicum* L.) в открытом грунте

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Исследования посвящены изучению особенностей проявления истинного гетерозиса по признакам урожайности и биохимического состава плодов томата.

Материал и методика исследований. Работа проведена в 2021–2023 гг. в условиях открытого грунта на опытном поле Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (Могилевская обл., Беларусь). Объектами исследований являлись 30 гибридов и 11 родительских образцов с различным уровнем хозяйственно ценных признаков и составом генов устойчивости к патогенам и накопления ликопина. Целью исследований являлось создание высокоурожайных гетерозисных гибридов F₁ томата, адаптированных к условиям открытого грунта Беларуси, с ценным биохимическим составом плодов.

Результаты. Лучшие гибридные комбинации показали раннюю 0,90–2,49 кг/м², товарную 7,50–11,40 кг/м², общую 8,22–13,12 кг/м² урожайность. Установлен высокий истинный гетерозис по ранней (88,9–291,0%), товарной (36,0–111,2%), общей (28,6–97,8%) урожайности у некоторых гибридов. Между гибридами установлены достоверные отличия по накоплению сухого вещества, общих каротиноидов, растворимых углеводов. Выделены гибридные комбинации с наибольшим значением истинного гетерозиса по накоплению сухого вещества (18,3–21,6%), каротиноидов (20,2–22,9%), растворимых углеводов (15,7–38,9%). Наследование ранней, товарной и общей урожайности, содержания сухого вещества, каротиноидов и растворимых углеводов преимущественно проходило по типу положительного сверхдоминирования, массы плода – по типу промежуточного наследования, содержания витамина С – по типу отрицательного сверхдоминирования. Гибриды Брусничный F₁, Мансиата F₁, Рада F₁ переданы в ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений» и успешно прошли этап испытания в 2023 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, селекция, гетерозис, гибрид, качество плодов, урожайность, открытый грунт

Practical application of heterosis on yield evidence and fruits biochemical composition for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in open ground

ABSTRACT

Relevance. The research is devoted to studying the peculiarities of the high-parent heterosis manifestation which connected with yield traits and the biochemical composition of tomato fruits.

Materials and Methods. The work was carried out in 2021–2023 in open field conditions on the experimental plot of the Belarusian State Agricultural Academy (Mogilev region, Belarus). The objects of research were 30 F₁ hybrids and 11 parental forms with different levels of economically valuable traits and with the specific set of genes for pathogen resistance and lycopene accumulation. The aim of the research was to create high-yield heterotic F₁ tomato hybrids, adapted to open field conditions in Belarus, with a valuable biochemical composition of fruits.

Results. The best hybrid combinations showed an early yield of 0.90–2.49 kg/m², a marketable yield of 7.50–11.40 kg/m², and a total yield of 8.22–13.12 kg/m². High heterosis effect was established for early (88.9–291.0%), marketable (36.0–111.2%), and total (28.6–97.8%) yield in some hybrids. Significant differences in the accumulation of dry matter, carotene, and soluble carbohydrates were ascertained between the hybrids. Hybrid combinations with the highest value of true heterosis on accumulation of dry matter (18.3–21.6%), carotene (20.2–22.9%), and soluble carbohydrates (15.7–38.9%) were identified. Inheritance of early, marketable and total yield, dry matter content, carotene and soluble carbohydrates predominantly took place according to the positive overdominance, fruit weight – according to the intermediate inheritance, vitamin C content – according to the negative overdominance. Hybrids Brusnichny F₁, Mansiata F₁, Rada F₁ were transferred to the State Inspection for Testing and Protection of Plant Varieties of the Republic of Belarus and successfully passed the testing stage in 2023.

KEYWORDS:

tomato, selection, heterosis, hybrid, fruit quality, productivity, open ground

Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) занимает одно из первых мест среди овощей для функционального питания. При своей невысокой калорийности – 160 – 200 ккал/кг, плоды томата содержат 4–8% сухого вещества, 0,6–1,1% белков, 0,4–0,6% органических кислот, а также микроэлементы, каротиноиды, пектиновые вещества, витамины В₁, В₂, В₃, В₄, В₅, Н (биотин), фолиевую и аскорбиновую кислоты и обладают иммуностимулирующим и противовоспалительным действием [1, 2].

В настоящее время в связи с дефицитом энергоресурсов особенно актуально возделывание томата в открытом грунте. Среди потребителей сохраняется устойчивый спрос на продукты с повышенным содержанием полезных для здоровья соединений. Пищевая ценность плодов томата определяется содержанием в них каротиноидов, полифенолов, растворимых сахаров, органических кислот, минералов и витаминов.

Важным условием получения высокого экономического эффекта при выращивании томата является создание и использование гибридов, обладающих сочетанием хозяйственно ценных признаков с проявлением эффекта гетерозиса. Многочисленные эксперименты по изучению гетерозиса у томата доказали эффективность внедрения гибридов F₁ в сельскохозяйственное производство [1].

Использование гетерозисных F₁ гибридов позволяет поднять урожайность сельскохозяйственных культур на 20–30%, иногда 50%, увеличить скороспелость, дружность созревания, повысить устойчивость к болезням и вредителям по сравнению с исходным материалом [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

В стремлении объяснить сущность эффекта гетерозиса в XX веке были сформулированы концепции на основе классических методов генетики и математической статистики (теория доминирования, теория сверхдоминирования, эпистаза, генетического баланса и др.) [11, 12, 13, 14]. С развитием передовых геномных (молекулярных) технологий и подходов математического анализа получены новые теоретические и экспериментальные результаты, на основании которых разработана и предложена для использования в селекционной практике концепция гетеротических групп. В этом случае молекулярные маркеры оказались эффективным инструментом для выявления исходного генетического материала и его дифференциации при планировании скрещиваний. Вся совокупность знаний и сведений относительно гетерозиса, полученных к настоящему времени, свидетельствует, что гетерозисный эффект в F₁ реализуется через комплекс сложных взаимодействий на уровне генома, эпигенома, транскриптома и метаболома [15].

Важным направлением использования гетерозиса является создание для открытого грунта гетерозисных гибридов F₁ томата, отличающихся скороспелостью и дружной отдачей урожая, высокой продуктивностью, устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды [16].

Целью исследований являлось создание высокоурожайных гетерозисных гибридов F₁ томата, адаптированных к условиям открытого грунта Беларуси, с ценным биохимическим составом плодов. Для достижения

цели были поставлены следующие задачи: 1) провести гибридизацию с использованием образцов с различным уровнем хозяйственно ценных признаков и составом аллелей устойчивости к патогенам и накопления форм ликопина, 2) оценить гибриды F₁ по признакам урожайности и биохимического состава плодов, 3) проанализировать величину истинного гетерозиса и особенности наследования изучаемых признаков, 4) выделить перспективные гибриды для передачи в систему государственного сортоиспытания.

Материалы и методы исследования

Исследования выполняли в 2021–2023 годах на опытном поле Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (Могилевская обл., Беларусь). Материалом послужили 30 гибридных комбинаций, полученных на основе исходных форм различного эколого-географического происхождения из коллекций Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и Института генетики и цитологии НАН Беларуси, используемых в рамках совместных исследований. В скрещивания были включены образцы, протестированные при помощи генетических маркеров, связанных с устойчивостью к кладоспориозу (*Cf-4*, *Cf-9*), фузариозному увяданию (*I-2*), фитофторозу (*Ph-3*), вирусу мозаики томата (*Tm-2^s*) и накоплением различных изомеров ликопина (*t*, *og^c*). В качестве материнских форм выступали фертильные линии (Линия 16–8 (*I-2*, *Cf-4*, *Cf-9*), Линия 16–57 (*og^c*), Линия 19–612 (*t*, *og^c*), Линия 19–645, Линия 19–652 и партенокарпическая Линия № 4 (*Tm-2^s*) с функциональной мужской стерильностью. Отцовскими формами являлись сорта Zafar, Желтый жемчуг (*Ph-3*, *I-2*, *Cf-4*, *Cf-9*), Ирма, а также Линия 217 (*t*) и Линия 221 (*og^c*, *I-2*) [17]. Контролем являлся гибрид F₁ Адапт.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, окультуренная, среднесуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке с содержанием гумуса 2,32 %, P₂O₅ – 224,4 мг/кг, K₂O – 190,4 мг/кг. Полив – при необходимости в первую половину вегетации через систему капельного орошения. Схема посадки 70х30 см. Повторность опыта трехкратная, расположение делянок рендомизированное. Возделывание томата осуществлялось в соответствии с рекомендациями [18]. Учеты и наблюдения за растениями проведены по общепринятым методикам [19]. Статистическая обработка результатов исследований выполнена методом двухфакторного дисперсионного анализа [20] с использованием компьютерной программы Microsoft Excel. Полевая оценка проводилась по следующим признакам: ранняя урожайность (первые три сбора плодов), товарная урожайность и общая урожайность, масса плода. Биохимический анализ качества плодов проводился в двукратной биологической повторности в химико-экологической лаборатории УО БГСХА: содержание сухого вещества – согласно ГОСТ 27548–97, растворимых углеводов – ГОСТ 26176–2019, общих каротиноидов – ГОСТ 13496.17–2019, аскорбиновой кислоты (витамин С) – ГОСТ 24556–89, общей кислотности – ГОСТ ISO 750–2013.

Истинный гетерозис оценивали как процент превышения значения признака у гибрида F₁ над значением

лучшего родителя $[(F_1 - P_{\text{лучш}}) / P_{\text{лучш}}] \times 100\%$. Характер наследования признаков определяли по коэффициенту фенотипического доминирования: $H_p = (F_1 - MP) / (P_{\text{лучш}} - MP)$, где F_1 – это значение изучаемого признака у гибрида, $P_{\text{лучш}}$ – лучший показатель у одной из исходных форм, MP – среднее значение признака у исходных форм [21].

Результаты и обсуждение

Погодные условия в период вегетации томата 2021–2023 годов отличались частым превышением средне-

суточной температуры воздуха над среднемноголетними значениями на 1,1–8,4°C и нехарактерным для северо-востока Беларуси дефицитом осадков. Это препятствовало распространению болезней, способствовало оптимальному фитосанитарному состоянию растений и реализации потенциала урожайности. Наиболее благоприятными были условия 2023 года, когда большинство изучаемых образцов сформировало 10–15 кг/м² товарных плодов. Значения признаков урожайности растений томата в открытом грунте и уровень истинного гетерозиса представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика гибридов F_1 по признакам урожайности и уровню истинного гетерозиса (среднее за 2021–2023 годы)
Table 1. Traits of F_1 tomato hybrids on yield and high-parent heterosis level (average for 2021–2023)

Образец	Ранняя урожайность		Товарная урожайность		Общая урожайность		Средняя масса плода	
	кг/м ² *	% **	кг/м ²	%	кг/м ²	%	г	%
Адапт F_1 контроль	1,91		5,56		6,37		63,17	
Линия 16-8 × Zafar	1,32	23,1	7,53	14,8	8,71	-3,8	96,94	-6,8
Линия 16-8 × Желтый жемчуг	2,49	291,0	9,81	98,7	10,64	90,3	30,19	-60,0
Линия 16-8 × Ирма	0,83	23,8	7,41	21,6	8,34	17,5	44,19	-41,7
Линия 16-8 × Линия 217	0,97	274,8	8,38	55,2	9,87	50,1	78,02	-5,8
Линия 16-8 × Линия 221	0,75	121,9	8,26	21,9	9,61	17,8	69,46	-17,9
Линия 16-57 × Zafar	0,83	-19,6	6,28	-9,5	7,83	-10,6	104,66	-1,0
Линия 16-57 × Желтый жемчуг	1,80	198,3	8,40	16,4	9,80	16,5	33,55	-68,0
Линия 16-57 × Ирма	1,42	94,9	9,94	36,0	10,76	29,7	54,36	-47,7
Линия 16-57 × Линия 217	0,51	44,8	7,04	-10,4	8,06	-11,2	88,15	-15,7
Линия 16-57 × Линия 221	0,33	-7,3	8,38	7,1	9,85	7,8	88,15	-15,9
Линия 19-612 × Zafar	0,69	-56,4	8,88	0,0	10,32	-1,9	138,02	-9,4
Линия 19-612 × Желтый жемчуг	0,97	90,6	11,40	62,4	13,12	57,5	39,78	-73,6
Линия 19-612 × Ирма	0,69	2,3	9,43	30,1	10,16	18,9	66,11	-56,1
Линия 19-612 × Линия 217	0,48	108,3	6,90	-4,4	8,37	-3,0	107,66	-29,5
Линия 19-612 × Линия 221	0,14	-1,6	10,14	39,2	10,90	28,6	112,75	-25,6
Линия 19-645 × Zafar	1,61	34,7	6,64	3,7	7,80	-7,2	94,99	-6,8
Линия 19-645 × Желтый жемчуг	1,55	59,1	7,30	26,9	8,13	19,9	29,53	-63,1
Линия 19-645 × Ирма	1,29	21,3	8,16	8,2	8,89	6,3	46,28	-42,4
Линия 19-645 × Линия 217	0,47	-60,4	5,57	-9,7	6,61	-11,6	75,52	-8,9
Линия 19-645 × Линия 221	0,70	-33,1	7,47	-10,1	8,54	-10,0	74,95	-7,9
Линия 19-652 × Zafar	1,09	-5,8	6,81	1,1	7,55	-15,3	83,58	-18,6
Линия 19-652 × Желтый жемчуг	1,08	-17,7	8,16	95,3	9,34	85,4	26,15	-55,4
Линия 19-652 × Ирма	0,87	-24,9	6,89	18,2	7,49	18,4	47,17	-19,8
Линия 19-652 × Линия 217	0,90	-15,3	7,50	49,4	8,22	43,0	72,32	-10,8
Линия 19-652 × Линия 221	0,74	-32,7	8,22	17,1	9,47	20,1	69,29	-9,4
Линия №4 × Zafar	1,31	-24,1	6,89	-3,4	7,64	-18,4	86,10	-16,8
Линия №4 × Желтый жемчуг	2,02	88,9	9,19	111,2	9,75	97,8	28,65	-47,3
Линия №4 × Ирма	0,41	-54,9	7,33	24,4	8,21	27,7	45,42	-16,9
Линия №4 × Линия 217	0,16	-85,1	4,10	-11,6	4,85	-9,9	76,53	-5,4
Линия №4 × Линия 221	0,76	-26,9	7,91	25,6	9,13	20,5	81,23	8,7
Линия 16-8	0,39		4,75		5,50		75,38	
Линия 16-57	0,53		7,75		8,85		105,22	
Линия 19-612	0,00		6,69		7,78		152,26	
Линия 19-645	1,05		6,73		7,78		80,46	
Линия 19-652	1,19		4,74		5,45		58,92	
Линия №4	1,09		4,19		4,76		54,59	
Zafar	1,28		7,29		9,44		102,90	
Желтый жемчуг	0,69		1,74		1,97		9,10	
Ирма	0,68		5,22		5,82		29,00	
Линия 217	0,01		3,98		4,95		80,49	
Линия 221	0,13		6,03		7,24		78,99	
Среднее по годам: 2021 год	0,85		4,80		5,45		70,07	
2022 год	0,77		4,26		4,77		64,04	
2023 год	1,10		12,30		14,13		80,35	
НСР ₀₅ фактор А (образцы)	0,373		1,367		1,545		15,767	
НСР ₀₅ фактор В (годы)	0,100		0,365		0,413		4,214	
НСР ₀₅ взаимодействие факторов АВ	0,058		0,211		0,238		2,433	

Примечание: * – значение признака, ** – величина истинного гетерозиса.

По результатам трехлетних испытаний гибрид F₁ Линия 16-8 × Желтый жемчуг существенно превосходил раннеспелый контроль Адапт F₁, сформировав 2,49 кг/м² зрелых плодов за первые три сбора. Кроме того, высокой ранней урожайностью (1,55-2,02 кг/м²) характеризовались гибриды Линия 16-57 × Желтый жемчуг, Линия 19-645 × Zafar, Линия 19-645 × Желтый жемчуг, Линия № 4 × Желтый жемчуг. Положительное значение эффекта гетерозиса в среднем за три года имели 50% гибридных комбинаций при величине от 2,3 до 291,0%. Наибольший гетерозис по данному признаку

(88,9–291,0%) наблюдался у гибридных комбинаций Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-8 × Линия 221, Линия 16-57 × Желтый жемчуг, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 217, Линия №4 × Желтый жемчуг. При этом в ранее опубликованных работах по изучению гетерозиса у томата в открытом грунте Беларуси показано преобладание как положительного, так и отрицательного гетерозиса, либо промежуточных значений, в зависимости от года и условий минерального питания [22].

Таблица 2. Характеристика гибридов F₁ томата по биохимическому составу плодов и уровню истинного гетерозиса (среднее за 2022-2023 годы)
Table 2. Traits of F₁ tomato hybrids on biochemical composition of fruits and high-parent heterosis level (average for 2022-2023)

Образец	Сухое вещество		Каротиноиды		Витамин С		Раствор. углеводы	
	%*	%**	мг/кг	%	мг/100 г	%	%	%
Адапт F ₁ контроль	5,8		38,6		31,7		3,7	
Линия 16-8 × Zafar	5,7	-4,2	30,9	-13,9	35,5	2,5	2,5	-22,0
Линия 16-8 × Желтый жемчуг	5,4	-4,8	42,3	22,9	33,4	-7,1	2,7	-13,0
Линия 16-8 × Ирма	5,9	-12,8	38,9	10,0	33,9	-0,8	2,9	-7,1
Линия 16-8 × Линия 217	6,0	8,6	37,1	4,9	34,4	-7,9	2,9	-6,1
Линия 16-8 × Линия 221	5,7	0,2	33,6	-15,0	35,0	-5,5	3,2	2,2
Линия 16-57 × Zafar	6,1	-4,5	35,0	-9,4	32,9	-8,4	2,8	-9,8
Линия 16-57 × Желтый жемчуг	5,6	-11,1	37,8	-1,7	31,4	-12,6	2,7	-5,7
Линия 16-57 × Ирма	5,8	-15,0	31,1	-19,3	34,2	-7,1	3,4	12,0
Линия 16-57 × Линия 217	5,7	-9,8	41,4	7,5	36,9	-0,6	3,2	9,9
Линия 16-57 × Линия 221	5,9	-7,4	35,9	-9,2	34,0	-7,8	3,0	0,1
Линия 19-612 × Zafar	6,4	-2,0	37,9	-4,3	33,7	-2,8	3,0	-7,1
Линия 19-612 × Желтый жемчуг	6,5	0,0	36,1	-4,8	36,3	1,3	3,2	9,1
Линия 19-612 × Ирма	7,3	6,8	37,0	-5,8	33,3	-6,3	2,8	-9,2
Линия 19-612 × Линия 217	6,6	1,4	32,8	-16,6	32,1	-13,0	2,8	-6,3
Линия 19-612 × Линия 221	6,0	-8,7	37,7	-6,3	34,1	-7,4	4,3	38,9
Линия 19-645 × Zafar	5,9	0,0	33,3	-9,6	34,6	1,4	3,7	21,2
Линия 19-645 × Желтый жемчуг	5,9	4,6	31,1	-17,1	36,8	2,0	2,4	-16,1
Линия 19-645 × Ирма	6,0	-11,2	40,8	11,6	31,0	-8,4	2,5	-15,5
Линия 19-645 × Линия 217	5,8	5,5	33,7	-8,7	34,7	-5,4	3,0	2,8
Линия 19-645 × Линия 221	6,7	18,3	42,6	7,4	34,8	-5,2	3,4	15,7
Линия 19-652 × Zafar	5,7	-5,0	39,9	17,3	33,9	-4,0	3,2	5,3
Линия 19-652 × Желтый жемчуг	6,0	5,8	38,7	20,2	34,5	-5,8	3,4	17,2
Линия 19-652 × Ирма	6,4	-5,4	31,7	-1,8	33,5	-3,2	2,9	-3,5
Линия 19-652 × Линия 217	5,8	4,8	34,5	7,3	36,0	-5,2	2,8	0,0
Линия 19-652 × Линия 221	6,8	21,6	42,5	7,4	33,0	-10,7	2,9	-0,1
Линия №4 × Zafar	5,9	-3,4	37,4	0,4	33,9	-3,7	3,0	-3,2
Линия №4 × Желтый жемчуг	6,3	8,2	34,9	8,8	32,2	-10,4	3,0	17,2
Линия №4 × Ирма	7,2	6,4	33,2	-4,2	33,6	-5,2	3,0	1,0
Линия №4 × Линия 217	6,0	3,7	37,9	12,2	34,8	-6,0	2,8	7,3
Линия №4 × Линия 221	6,3	9,1	31,6	-22,5	34,5	-5,8	3,9	33,9
Линия 16-8	5,5		34,2		34,0		3,2	
Линия 16-57	6,3		38,4		35,9		2,9	
Линия 19-612	6,5		37,1		34,5		3,0	
Линия 19-645	5,5		36,8		33,3		2,9	
Линия 19-652	5,5		32,2		34,8		2,8	
Линия №4	5,8		34,1		34,8		2,5	
Zafar	5,8		34,5		34,0		3,1	
Желтый жемчуг	5,5		31,2		35,8		2,7	
Ирма	6,8		31,5		33,5		3,0	
Линия 217	5,4		31,7		36,6		2,5	
Линия 221	5,7		39,5		36,8		2,9	
Среднее по годам: 2022 г.	6,10		39,5		30,5		3,11	
2023 г.	5,91		32,20		37,80		2,87	
НСР ₀₅ фактор А (образцы)	0,710		7,085		Fф<F ₀₅		0,809	
НСР ₀₅ фактор В (годы)	0,155		1,546		1,011		0,176	
НСР ₀₅ взаимодействие факторов АВ	0,110		1,093		Fф<F ₀₅		Fф<F ₀₅	

Примечание: * – значение признака, ** – величина истинного гетерозиса.

По величине товарной и общей урожайности практически все гибриды достоверно превышали значение контроля Адапт F₁: на 26,6–105,0% и на 27,6–106,0%, соответственно. Положительное значение эффекта гетерозиса отмечалось у 63–73% гибридных комбинаций, что согласуется с известными данными [5, 8, 9]. Выделены комбинации скрещивания с максимальным положительным гетерозисом по товарной (36,0–111,2%) и общей (28,6–97,8%) урожайности: Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Линия 217, Линия № 4 × Желтый жемчуг.

При достоверном превышении контроля Адапт F₁ по массе плода все гибриды F₁ с сортом Zafar в качестве отцовского компонента скрещивания, а также F₁ Линия 16-57 × Линия 217, F₁ Линия 16-57 × Линия 221, F₁ Линия 19-612 × Линия 217, F₁ Линия 19-612 × Линия 221, F₁ Линия №4 × Линия 221 имели наиболее крупные плоды массой около 100 г. В сравнении с другими признаками урожайности, добиться проявления истинного гетерозиса по массе генеративных органов не просто. Неоднократно отмечается более низкая частота проявления положительного истинного гетерозиса по массе плода у перца сладкого [15, с 168; 23] томата [15, с. 179], огурца [24]. В наших исследованиях положительный эффект гетерозиса в среднем за три года был установлен только у F₁ Линия № 4 × Линия 221 при отрицательных значениях в остальных гибридных комбинациях.

В Республике Беларусь томат в открытом грунте убирают вручную, плоды употребляют в свежем виде, для цельноплодного консервирования или переработки на томатные продукты. Поэтому кроме урожайности, особые требования предъявляются к содержанию полезных веществ и вкусовым качествам. Согласно проведенному биохимическому анализу у 5 гибридов F₁ (Линия 19-612 × Ирма, Линия 19-612 × Линия 217, Линия 19-645 × Линия 221, Линия 19-652 × Линия 221, Линия № 4 × Ирма) отмечалось достоверное превышение по содержанию сухого вещества (6,6–7,3%) в сравнении с контролем Адапт F₁, при 5,4–6,5 % у остальных гибридов (табл. 2).

По общему содержанию каротиноидов изучаемые образцы практически не отличались между собой, однако можно выделить гибриды Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-57 × Линия 217, Линия 19-645 × Ирма, Линия 19-645 × Линия 221 и Линия 19-652 × Линия 221 с относительно высоким значением признака – 40,8–42,6 мг/кг. В наших исследованиях не выявлено разницы между образцами по накоплению витамина С, значения варьировали от 31,0 до 36,9 мг/100 г. Плоды большинства образцов содержали 2,9–3,9% растворимых углеводов и существенно не отличались по этому признаку от контроля. Известно, что вкус томата определяется соотношением сахаров и кислот. Лучшими вкусовыми качествами обладают плоды с сахарокислотным индексом не ниже 7 и содержанием сахаров выше 3% [25]. При уровне общей кислотности 0,24–

0,38%, сахарокислотный индекс у изучаемых гибридов варьировал от 7,3 до 12,5, что свидетельствует о достаточно сбалансированном вкусе, особенно у шестнадцати образцов с содержанием растворимых углеводов 3,0–4,3%.

Проявление истинного гетерозиса по биохимическим признакам менее выражено по сравнению с признаками урожайности. Доля гибридов с положительным значением истинного гетерозиса составляла по содержанию сухого вещества 46,7%, каротиноидов – 43,3%, витамина С – 10%, растворимых углеводов – 50%. Наибольший эффект гетерозиса по накоплению сухого вещества отмечен у F₁ Линия 19-645 × Линия 221 (18,3%) и F₁ Линия 19-652 × Линия 221 (21,6%); по накоплению каротиноидов – у F₁ Линия 16-8 × Желтый жемчуг (22,9%) и F₁ Линия 19-652 × Желтый жемчуг (20,2%); по накоплению растворимых углеводов – у F₁ Линия 19-612 × Линия 221 (38,9%), F₁ Линия 19-645 × Zafar (21,2%), F₁ Линия 19-645 × Линия 221 (15,7%), F₁ Линия 19-652 × Желтый жемчуг (17,2%), F₁ Линия №4 × Желтый жемчуг (17,2%) и F₁ Линия №4 × Линия 221 (33,9%).

Гибридные комбинации Линия 16-57 × Линия 217, Линия 19-645 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия №4 × Желтый жемчуг и Линия №4 × Линия 221 имеют относительно высокие значения нескольких биохимических характеристик и положительные значения истинного гетерозиса по этим признакам.

Для качественной оценки проявления признаков в F₁ наряду с эффектом истинного гетерозиса был изучен характер наследования на основании анализа степени доминирования. На зависимость проявления доминантности от самых разных факторов (условий внешней среды, всего процесса развития организма, этапа онтогенеза, генетических особенностей компонентов скрещивания, анализируемого признака) указывал А. А. Жученко [26] на основании обобщения результатов исследований по данной теме. В наших экспериментах наследование ранней, товарной и общей урожайности преимущественно проходило по типу положительного сверхдоминирования, массы плода по типу промежуточного наследования (рис. 1). Однако, по ранней урожайности в 2023 г и по общей урожайности в 2022 году преобладало промежуточное наследование.

Тип наследования содержания сухого вещества в плодах томата изменялся от промежуточного в 2022 году до сверхдоминирования в 2023 году. Средние значения доли гибридов с различными значениями степени доминирования по содержанию сухого вещества, каротиноидов и растворимых углеводов свидетельствуют о преобладании сверхдоминирования при наследовании этих признаков: 50,0%, 46,7% и 50,0% соответственно. Накопление витамина С наследуется по типу отрицательного сверхдоминирования, так как значения $Hr < -1$ преобладают по сравнению с $-1 \leq Hr < 1$ и $Hr > 1$ (рис. 2).

В результате проведенных исследований три перспективных гибрида первого поколения – Брусничный F₁ (Ph-3, I-2, Cf-4, Cf-9), Мансиата F₁ (I-

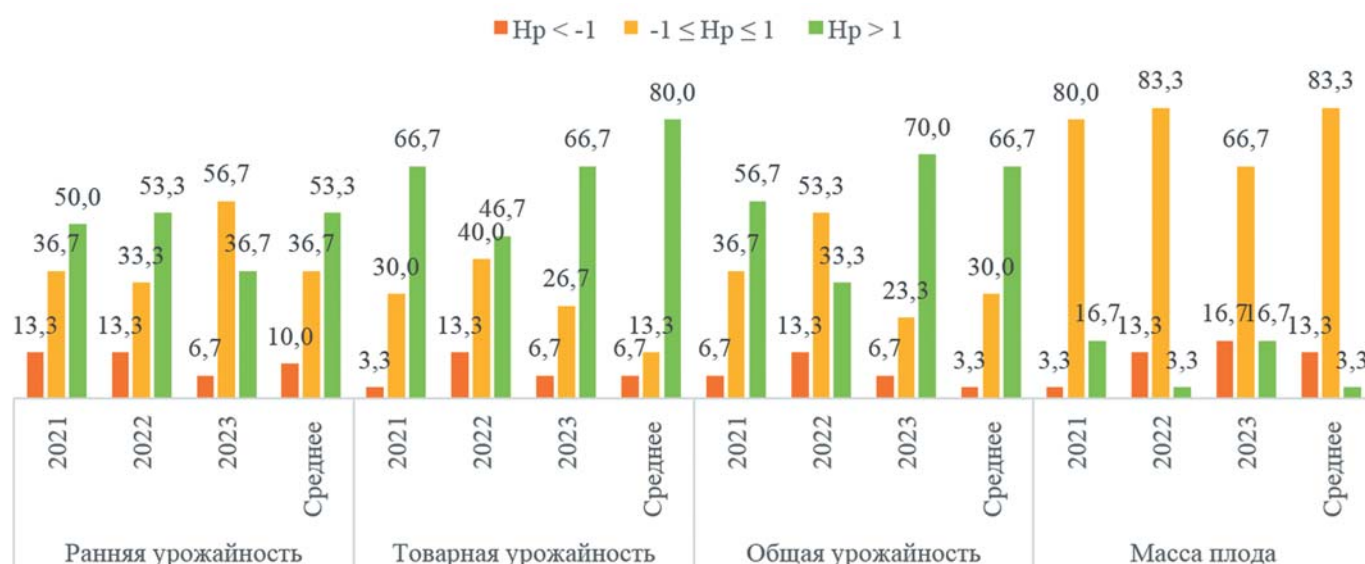


Рис. 1. Доля гибридов томата с различной степенью доминирования (Hr) по признакам урожайности, %
Fig. 1. Percentage of tomato hybrids with varying degrees of dominance (Hr) on yield traits, %

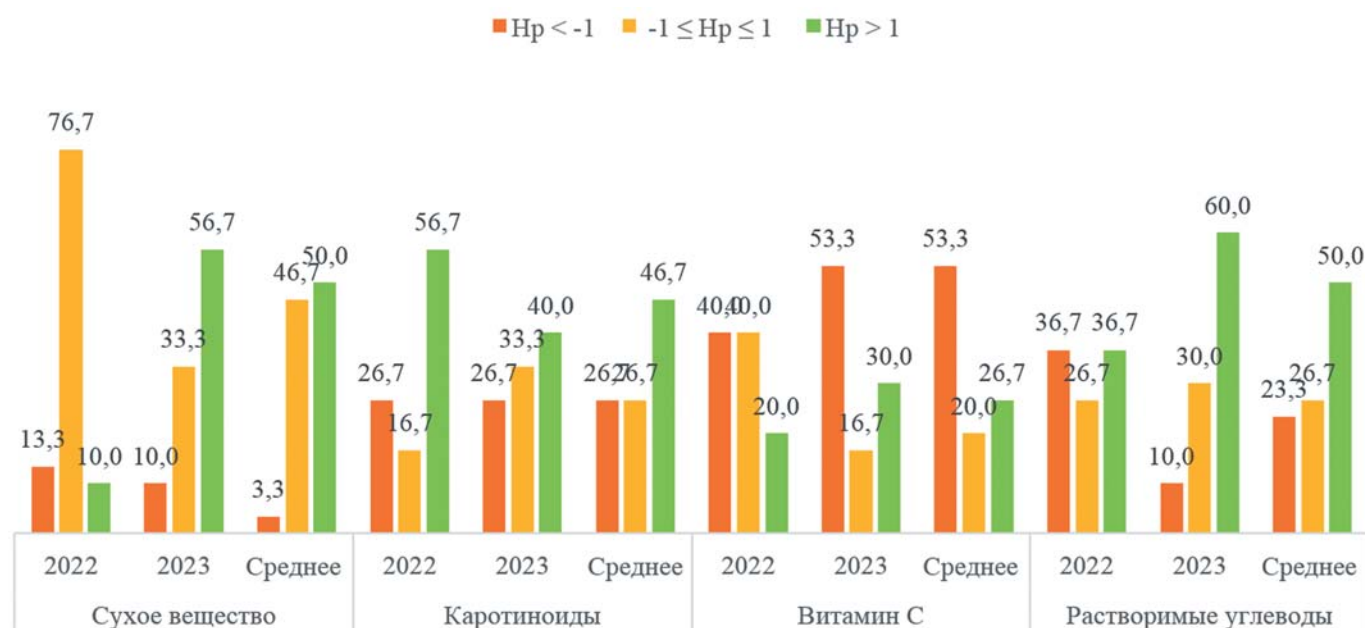


Рис. 2. Доля гибридов томата с различной степенью доминирования (Hr) по биохимическим признакам, %
Fig. 2. Percentage of tomato hybrids with varying degrees of dominance (Hr) on biochemical traits, %

2, Cf-4, Cf-9), Рада F₁ (og^c) были переданы в Государственную инспекцию по испытанию и охране сортов растений при Министерстве сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь как высокоурожайные, гетерозисные, характеризующиеся генетической детерминацией ценных признаков и повышенным накоплением полезных веществ в плодах. В семи пунктах сортоиспытания в различных регионах Беларуси на основании испытания за 2023 год отмечено превосходство новых гибридов по товарной урожайности над контролем: Брусничный F₁ – на 2,1–32,8 т/га, Мансиата F₁ – на 12,8–28,7 т/га, Рада F₁ – на 9,9–32,2 т/га. На Кобринской, Мозырской, Молодечненской и Горецкой сортоиспытательных станциях новые гибриды получили также более

высокую дегустационную оценку плодов.

Закключение

По комплексу признаков урожайности выделены гибридные комбинации Линия 16-8 × Zafar, Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Линия 217, Линия № 4 × Желтый жемчуг с ранней урожайностью 0,90–2,49 кг/м², товарной урожайностью 7,50–11,40 кг/м², общей урожайностью 8,22–13,12 кг/м², средней массой плода 26,15–39,78 г для комбинаций скрещивания с мелкоплодным сортом Желтый жемчуг, 96,94 г – с сортом Zafar, 72,32 – 78,02 г – с Линией 217, 54,36 г – с сортом Ирма.

По признаку «ранняя урожайность» высокий положительный гетерозис (от 88,9 до 291,0%) наблюдался у гибридных комбинаций Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-8 × Линия 221, Линия 16-57 × Желтый жемчуг, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 217, Линия №4 × Желтый жемчуг.

У гибридов Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Линия 217, Линия № 4 × Желтый жемчуг эффект гетерозиса достигал 36,0–111,2% по признаку «товарная урожайность» и 28,6–97,8% – по признаку «общая урожайность».

Крупные плоды массой около 100 г имели все гибриды F₁ с сортом Zafar, а также F₁ Линия 16–57 × Линия 217, F₁ Линия 16-57 × Линия 221, F₁ Линия 19-612 × Линия 217, F₁ Линия 19-612 × Линия 221, F₁ Линия №4 × Линия 221. Положительный эффект гетерозиса установлен только у F₁ Линия № 4 × Линия 221.

Выделены гибридные комбинации с наибольшим значением истинного гетерозиса по накоплению в плодах сухого вещества (18,3–21,6%), каротиноидов (20,2–22,9%); растворимых углеводов (15,7–38,9%). Гибриды Линия 16-57 × Линия 217, Линия 19-645 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия №4 × Желтый жемчуг и Линия №4 × Линия 221 имеют относительно высокие значения нескольких биохимических характеристик и положительные значения истинного гетерозиса по этим признакам.

Наследование ранней, товарной и общей урожайности, содержания сухого вещества, каротиноидов и растворимых углеводов преимущественно проходило по типу положительного сверхдоминирования, массы плода – по типу промежуточного наследования, содержания витамина С – по типу отрицательного сверхдоминирования.

Три гибрида переданы в ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений» и успешно проходят испытание.

• Литература

- Мамедов М.И., Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н. *Селекция томата, перца и баклажана на адаптивность*. М.: ВНИИССОК; 2002. 442 с.
- Аутко А.А., Аутко А.А. *Овощи в питании человека*. Минск: Беларуская навука; 2008. 310 с.
- Игнатова С.И., Горшкова Н.С., Кондакова Е.И. Селекция тепличных сортов и гибридов томата. *Селекция и семеноводство овощных и бахчевых культур*. 1989. С. 115–128.
- Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г. Индуцирование мощности гетерозиса в гибридном семеноводстве томата. *Гавриш*. 1998;5(6):33-34.
- Нурматов Н.Ж., Жумаев Э.А. Использование гетерозиса в селекции томата на скороспелость. *Овощи России*. 2018;(4):36-38. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-36-38> <https://elibrary.ru/uuatrr>
- Кильчевский А.В., Добродькин А.М., Пугачева И.Г., Добродькин М.М. Проявление эффекта гетерозиса у томата по хозяйственно ценным признакам в пленочных теплицах. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015;(3):118-121. <https://elibrary.ru/zchrvr>
- Мамедов М.И., Харченко В.А. Гетерозис и корреляционная зависимость по продуктивности и их компонентов у гибридов F₁ томата на стерильной основе. *Селекция и семеноводства овощных культур: Сборник научных трудов ВНИИССОК*. 2002;(37):127-145. <https://elibrary.ru/xcvyib>
- Кондратьева И.Ю. Результаты изучения гетерозисных гибридов томата в открытом грунте нечерноземной зоны России. *Овощи России*. 2013;(2):26-30. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-2-26-30> <https://elibrary.ru/rawrff>
- Добродькин А.М., Пугачева И.Г., Добродькин М.М., Никонович Т.В., Кильчевский А.В. Проявление эффекта гетерозиса по хозяйственно ценным признакам у томата в открытом грунте. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(2):140-143. <https://elibrary.ru/xryycl>
- Балашова И.Т., Балашова Н.Н., Пинчук Е.В. Первые результаты программы ВНИИССОК «Томат, устойчивый к абиотическим и биотическим стрессам Нечерноземной зоны России». *Селекция и семеноводство овощных культур: сб. научных трудов*. 2005;(40):17–26.
- Davenport C.B. Degeneration, albinism and inbreeding. *Science*. 1908;28(718):454-455. <https://doi.org/10.1126/science.28.718.454-b>
- Shull G.H. The genotypes of maize. *Amer. Naturalist*. 1911;45(532):234-252.
- Jones D.F. Dominance of Linked factors as a means of accounting for heterosis. *Genetics*. 1917;(2):466-479. <https://doi.org/10.1073/pnas.3.4.310>
- Турбин Н.В. Гетерозис и генетический баланс. Гетерозис: теория и методы практического использования. Минск. 1961. С. 334.
- Хотылева Л.В., Кильчевский, А.В., Шаптуренко, М.Н., Тарутина Л.А., Титок В.В. *Генетические основы гетерозиса*. Минск: Беларуская навука. 2021. 226 с. <https://elibrary.ru/bpxlcl>
- Пивоваров В.Ф., Балашова Н.Н., Урсул С.В. Гетерозис сельскохозяйственных растений: развитие теоретических аспектов и практическое применение. *Гетерозис сельскохозяйственных растений*. М., 1997. С. 5-12.
- Пугачева И.Г., Французенок А.В., Баева И.Е., Лещина Н.Ю., Добродькин М.М., Некрашевич Н.А., Бабак О.Г., Кильчевский А.В. Использование методов молекулярного маркирования признаков устойчивости к болезням и пигментного состава плодов в селекции томата *Solanum lycopersicum* L. для открытого грунта. *Овощеводство*. 2022;(30):117-131.
- Оптимизация технологии возделывания томата в открытом грунте: рекомендации. Сост. А. В. Кильчевский, М. М. Добродькин, Т. В. Никонович, И. Г. Пугачева, А. М. Добродькин, Н. В. Барбасов. Горки: БГСХА; 2018. 51 с.
- Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Россельхозакадемия; 2011. 649 с.
- Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. 5-е издание, переработанное и дополненное. М.: Агропромиздат; 1985. С. 223–230.
- Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиогенез). Кишинев : Штиинца, 1980. С. 170–175.
- Кильчевский А.В., Бабак О.Г., Щур А.В. Особенности наследования параметров продуктивности томата на различных агрофонах. *Состояние и перспективы развития плодородия и овощеводства в современных условиях*: Сб. науч. тр. Горки, БСХА, 1998. С. 91–96.
- Моисеева М.О., Никонович Т.В., Пугачева И.Г., Добродькин М.М., Кильчевский А.В., Пышная О.Н., Шмыкова Н.А., Супрунова Т.П. Анализ эффекта гетерозиса у гибридов F₁ перца сладкого. *Земледелие и растениеводство*. 2015;(1):14-19.
- Ушанов А.А., Ульянов Р.А., Миронов А.А. Оценка гетерозиса в реципрокных скрещиваниях инбредных линий партенокарпического огурца (*Cucumis sativus* L.). *Овощи России*. 2022;(1):19-23. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-19-23> <https://elibrary.ru/picqpn>
- Кондратьева И.Ю., Енгальчев М.Р. Крупноплодные деликатесные сорта томата с высокими вкусовыми качествами. *Овощи России*. 2019;(1):46-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-46-49> <https://elibrary.ru/wuanuf>

• References

- Mamedov M.I., Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N. *Selection of tomato, pepper and eggplant for adaptability in mind*. M.: VNISSOK; 2002. 442 p. (In Russ.)
- Autko A.A., Autko An.A. *Vegetables in human nutrition*. Minsk: Belarusian Science; 2008. 310 p. (In Russ.)
- Ignatova, S.I., Gorshkova N.S., Kondakova E.I. Selection of greenhouse varieties and hybrids of tomato. *Selection and seed production of vegetable and melon crops*. 1989. P.115-128. (In Russ.)
- Pivovarov V.F., Dobrutska E.G. Induction of heterosis power in hybrid tomato seed production. *Gavriish*. 1998;5(6): 33-34. (In Russ.)
- Nurmatov N.J., Jumayev E.A. Use of heterosis in the selection of tomato on speed. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(4):36-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-36-38> <https://elibrary.ru/uuuratr>
- Kilchevskii A.V., Dobrodin A.M., Pugacheva I.G., Dobrodin M.M. Manifestation of heterosis effect in tomato according to economically valuable signs in film hothouses. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2015;(3):118-121. (In Russ.) <https://elibrary.ru/zchrvr>
- Mamedov M.I., Kharchenko V.A. Heterosis and correlation dependence on productivity and their components in F₁ tomato hybrids on a sterile basis. *Breeding and seed production of vegetable crops: Collection of scientific works All-Russian. Research Institute*. 2002;37:127-145. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xcvyib>
- Kondratieva I.U. The results of the study of heterosis hybrids of tomato in the open field in Nonchernozem zone of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(2):26-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-2-26-30> <https://elibrary.ru/rawrif>
- Dobrodin A.M., Pugacheva I.G., Dobrodin M.M., Nikonovich T.V., Kilchevskii A.V. Manifestation of heterosis effect according to economically useful traits in open ground tomato. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Sciences Academy*. 2018;(2):140-143. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xryycl>
- Balashova I.T., Balashova N.N., Pinchuk E.V. First results of the VNISSOK program «Tomato resistant to abiotic and biotic stresses of the Non-Black Earth Zone of Russia» Selection and seed production of vegetable crops. 2005;(40):17-26 (In Russ.)
- Davenport C.B. Degeneration, albinism and inbreeding. *Science*. 1908;28(718):454-455. <https://doi.org/10.1126/science.28.718.454-b>
- Shull G.H. The genotypes of maize. *Amer. Naturalist*. 1911;45(532):234-252.
- Jones D.F. Dominance of Linked factors as a means of accounting for heterosis. *Genetics*. 1917;(2):466-479. <https://doi.org/10.1073/pnas.3.4.310>
- Turbin H.B. Heterosis and genetic balance. *Heterosis: theory and methods of practical use*. Minsk. 1961. P. 3–34. (In Russ.)
- Khotyleva L.V., Kilchevsky A.V., Shapturenko M.N., Tarutina L.A., Titok V.V. *Genetic basis of heterosis*. Minsk: Belarusian Science, 2021. 226 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/bpxlxl>
- Pivovarov V.F., Balashova N.N., Ursul S.V. Heterosis of agricultural plants: development of theoretical aspects and practical application. In the book. *Heterosis of agricultural plants*. M.;1997. P. 5–12. (In Russ.)
- Pugacheva I.G., Frantsuzenok A.V., Baeva I.E., Leschina N.Yu., Dobrodin M.M., Nekrashevich N.A., Babak O.G., Kilchevskiy A.V. Using molecular marker techniques for disease resistance traits and pigment composition of fruits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) breeding for the open ground. *Vegetable Growing*. 2022;(30):117-131. (In Russ.) (In Russ.)
- Optimization of tomato cultivation technology in open ground: recommendations. Comp. A. V. Kilchevsky, M. M. Dobrodin, T. V. Nikonovich, I. G. Puhachova, A. M. Dobrodin, N. V. Barbasov. Gorki: BGSHA; 2018. 51 p. (In Russ.)
- Litvinov S.S. *Methodology for field testing in vegetable cultivation*. M.: Rosselkhozakademiya; 2011. 649 p. (In Russ.)
- Dosphehov B.A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. 5th edition revised and expanded. M.: Agropromizdat; 1985. P. 223–230. (In Russ.)
- Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants (Adaptation, recombination, agrobiocenosis). Kishinev, Shtiintsa Publishers, 1980. P. 170-175. (In Russ.)
- Kilchevsky A.V., Babak O.G., Shchur A.V. Peculiarities of inheritance of tomato productivity parameters on different agrofons. State and prospects for the development of fruit and vegetable growing in modern conditions: Collection of scientific works. Gorki, BSAA, 1998. P. 91–96. (In Russ.)
- Moiseeva M.O., Nikonoich T.V., Pugachiova I.G., Dobrodin M.M., Kilchevsky A.V., Pyshnaya O.N., Shmykova N.A., Suprunova T.P. Heterosis effect analysis in sweet pepper F₁ hybrids. *Crop Farming and Plant Growing*. 2015;(1):14-19. (In Russ.)
- Ushanov A.A., Ulyanov R.A., Mironov A.A. Evaluation of heterosis through reciprocal crosses of inbred cucumber lines (*Cucumis sativus* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):19-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-19-23> <https://elibrary.ru/picqpn>
- Kondratyeva I.Yu., Engalychev M.R. Large-fruited, delicacy and highly palatable tomato varieties. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(1):46-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-46-49> <https://elibrary.ru/wuanuf>

Об авторах:

Ирина Геннадьевна Пугачёва – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, автор для переписки, puhachova.irina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8329-7468>

Анастасия Васильевна Французёнок – аспирант кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, nfrancuzenok@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6030-6154>

Ирина Евгеньевна Баева – кандидат с.-х. наук, зав. учебно-научно-исследовательской генетической лабораторией, irynabayeva27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1933-5591>

Ольга Геннадьевна Бабак – кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической генетики и биотехнологии, Институт генетики и цитологии, O.Babak@igc.by, babak_olga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1087-9472>.

Александр Владимирович Кильчевский – академик НАН Беларуси, доктор биол. наук, профессор, научный руководитель лаборатории экологической генетики и биотехнологии, kilchev@presidium.bas-net.by, <https://orcid.org/0000-0002-0175-9786>

About the Authors:

Iryna G. Puhachova – Ph.D. (Agriculture), Associate Professor of the Department of the Agricultural Biotechnology, Ecology and Radiology, Corresponding Author, puhachova.irina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8329-7468>

Anastasiya V. Frantsuzionak – Ph.D. student of the Department of the Agricultural Biotechnology, Ecology and Radiology, nfrancuzenok@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6030-6154>

Iryna E. Bayeva – Ph.D. (Agriculture), Chief of the Academic-scientific-investigation Genetics Laboratory, <https://orcid.org/0000-0003-1933-5591>, irynabayeva27@mail.ru

Olga G. Babak – Ph.D (Biology), Assistant Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Ecological Genetics and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0002-1087-9472>, babak_olga@mail.ru, o.babak@igc.by

Alexander V. Kilchevsky – Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sci. (Biology), Professor, Scientific Director of the Laboratory of Environmental Genetics and Biotechnology, kilchev@presidium.bas-net.by, <https://orcid.org/0000-0002-0175-9786>.